

空気式太陽熱暖房システムを採用した実験住宅における運用方法の検討 実測概要と基礎の各部位における吸放熱量の計測結果

Study on Energy Saving operation of Air-Based Solar Heating System

Outline of Field-Survey and Measurement Results of Heat Transfer in Foundation

学生会員 ○小原 克哉 (東京大学) 正会員 高瀬 幸造 (東京大学)
正会員 前 真之 (東京大学) 正会員 盧 炫佑 (OMソーラー(株))
正会員 中村 正吾 (OMソーラー(株))

Katsuya OBARA*¹ Kozo TAKASE *¹ Masayuki MAE *¹ Hyunwoo ROH*² Shogo NAKAMURA*²

*¹ The University of Tokyo *² OM solar

we measured and analyzed a experimental house which installed the Air-Based Solar Heating System. In this report, we tried various systems to keep warm in night. The ratio of the volume of heat radiating to heat reserving at the concrete slab is different depends on outer perimeter or central part. So it is important to prevent heat from outer perimeter to decrease loss.

1. はじめに

近年、有効な自然エネルギー利用が求められているが、その中でも太陽エネルギーを使用した暖房・給湯システムは、従来より様々なシステムが提案されている。本研究で対象とする空気式太陽熱暖房システムの概念図を図1に示す。屋根で集熱された外気は立下りダクトから床下空間に供給され、対流(床下空間から居室への温風の吹き出し)と貫流(温まった床から居室への熱移動)によって室内に供給される。残りの熱の一

部が基礎コンクリートに吸熱されて蓄熱される。

蓄熱分をロスなく必要な時間帯に使用するためには、非集熱時の運用、補助暖房の検討が必要である。赤嶺ら¹⁾は基礎床中央の表面熱流の実測結果から蓄放熱量を検討しているが、熱損失が大きいとされる基礎外周部の測定までは行っていない。そこで、本研究では空気式太陽熱暖房システムを搭載した実験住宅にて、非集熱時の運転パターンを複数試し、基礎の部位ごとに吸放熱量を測定することで、熱損失量の違いを明らかにする。

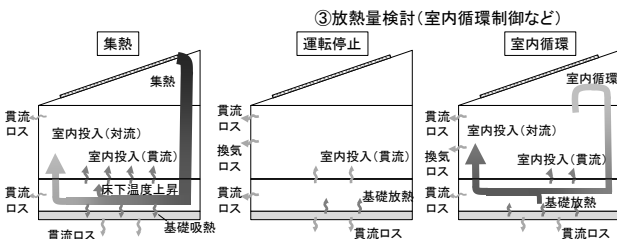
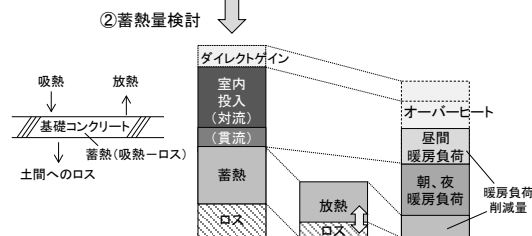
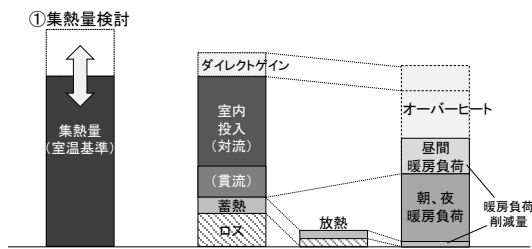


図1. 空気式太陽熱暖房システムの概念図

2. 実測概要

2-1 実測物件の概要

表1, 図2に実測物件の概要と外観を示す。実測対象物件は2012年春に静岡県浜松市に竣工した延床面積108㎡の3階建て木造住宅である。熱損失係数 Q 値は1.7W/(㎡・K)であり、当該区域の次世代省エネ基準を十分満たす断熱性能を有する。

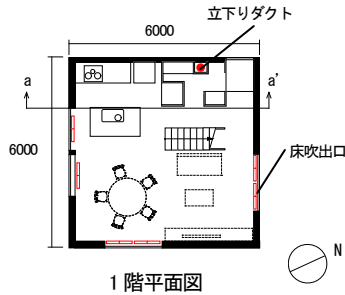
図3に実測物件の平面図及び断面図を示す。集熱時に、床下の基礎コンクリートスラブを蓄熱部として活用することを意図して、基礎断熱としている。押出法ポリスチレンフォーム3種Bを使用し、基礎立上り壁は50mm、基礎床表面の外周部(立ち上がり壁から720mmまで)は50mmの内断熱とし、基礎下全体に50mmの断熱材(地中梁での欠損部分では斜めに切欠き)が施されている。換気システムは、冬期の集熱時は24時間換気は停止し、換気回数2~2.5[回/h]の第2種換気となる。集熱停止時には、トイレ・浴室からの排気による第3種換気、または後述する第1種全熱交換換気となる。

表 1 実測物件の概要

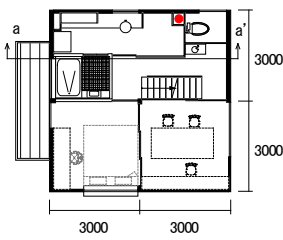
所在地	静岡県浜松市
竣工年	2012年春
床面積	延床:108㎡(1階:36㎡,2階:36㎡,3階:36㎡) a'
熱損失係数(Q値)	1.7W/(㎡・K)
集熱面積	ガラス付き集熱部: 8.8㎡ ガラス無し集熱部(PV): 20.7㎡
全熱交換器性能	定格消費電力:68W 風量(給排気):145㎡/h 熱交換効率(顕熱):70%(強運転の場合)



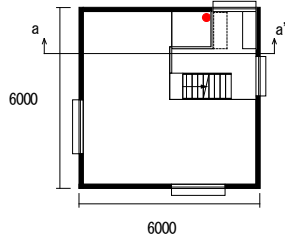
実測物件の外観(南側)



1階平面図

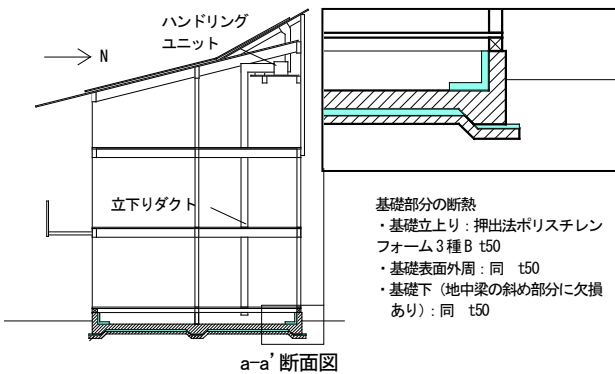


2階平面図



3階平面図

図 2 実測物件の概要



a-a' 断面図

図 3 断面図

基礎部分の断熱
 ・基礎立上り: 押出法ポリスチレンフォーム3種B t50
 ・基礎表面外周: 同 t50
 ・基礎下(地中梁の斜め部分に欠損あり): 同 t50

表 2 計測点概略

分類	測定項目	点数	センサー	計測間隔	
気象観測	水平面全天日射	1	日射計	1分	
	屋根面全天日射(PV)	1			
	屋根面全天日射(ガラス集熱面)	1			
	集熱システム	外気温	1		外部温度計
		外気相対湿度	1		外部湿度計
		外部風速	1		風速計
		外部風向	1		風向計
集熱面温度		6	熱電対		
基礎まわり	エアハンドリングボックス内温度	4	熱電対		
	立下りダクト温度	2			
	全熱交換器温度	4	熱電対		
	空気搬送風量	2			
	床下空間温度	5			
	基礎表面温度・熱流	5・9	小型熱流計口50mm		
	基礎内部温度	10	熱電対		
室内環境	基礎下断熱材下温度・熱流	1	小型熱流計口50mm		
	居室温度	13	熱電対		
	居室放射温度	13	熱電対・黒ビロソ玉		
	床表面温度・熱流	5・5	小型熱流計口50mm		
	壁面温度	3	熱電対		
	天井表面温度	1	熱電対		
	給湯タンク表面温度	3	熱電対		
給湯	給湯給水温度	2	シーエス熱電対		
	不凍液温度	2			
	給湯給水流量	1	流量センサー		
	不凍液流量	1			
	電力	PV発電	1	電流・電圧	
エアハンドリングボックス消費電力		1			
エアコン消費電力		1			
ロスナイ消費電力		1			
エコキュート消費電力		1			
照明消費電力		3			
主幹消費電力		2			

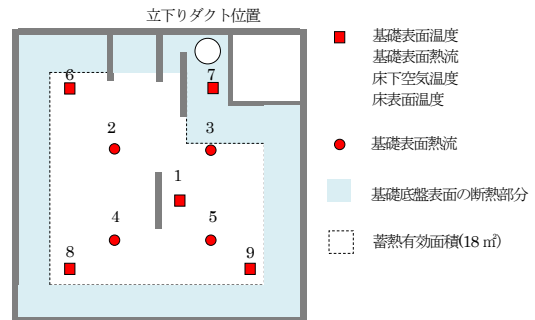


図 4 基礎伏図及びセンサー設置状況と評価面の概要

3. 非集熱時の運転方法に関する検討

実験住宅では非集熱時の運用方法として3通りの運用が選択可能な設計とした。「ハンドリングユニットファン停止」、昼間の集熱時に基礎に蓄熱した熱を夜間に取り出す「室内循環」、夜間の換気負荷を低減するための「全熱交換換気運転」の3パターンについて、エアコン運転の有無による比較を行った。表4に計測スケジュール、図6にそれぞれのスケジュールにおける気候条件を示す(日射量は欠測したため、掲載を省略)。ケースeにおいて、集熱量が多いが、それ以外は100~130MJとなっており、平均外気温にも大きな差はない。エアコンを使用しているケースd, e, fにおいて居室空間の平均温度が高い傾向が見られる。

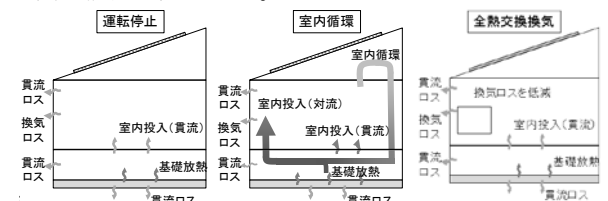


図 5 夜間の運転方法の種類(左:自然放熱、中:室内循環、右:全熱交換換気)

2-2 測定概要

表2に測定概要を示す。計測点は外気温、相対湿度、日射量等の気象観測7点、床下空間・基礎周りの温度分布・熱流が33点、居室の室内環境まわりの表面温度・熱流が45点、主幹・太陽光発電パネルの発電量・エアコン消費電力などを11点、空気集熱システムまわり(集熱パネル内温度、立下りダクト内の風量、給湯タンクの温度、等)の計測点27点。合計で123点である。吸放熱量は基礎床面について評価することとし、床下空間空気から基礎へ向かう熱流を吸熱と定義する。

ここで、基礎床上に断熱材が敷かれている部分を基礎床外周、断熱材の敷かれていない中央部分を基礎床中央とし、18㎡に対して9点の熱流計で計測した。

表3 計測スケジュール

ケース名	測定期間	補助暖房(6:00-23:00)	非集熱時の運転
a エアハン停止×自然室温	12/31-1/6	なし	ハンドリングユニットファン停止
b 室内循環×自然室温	12/21-12/27		室内循環
c 全熱交換換気×自然室温	1/14-1/20	エアコン(20℃設定)	全熱交換換気運転
d エアハン停止×エアコン	1/28-2/3		ハンドリングユニットファン停止
e 室内循環×エアコン	2/8-2/14		室内循環
f 全熱交換換気×エアコン	1/21-1/27		全熱交換換気運転

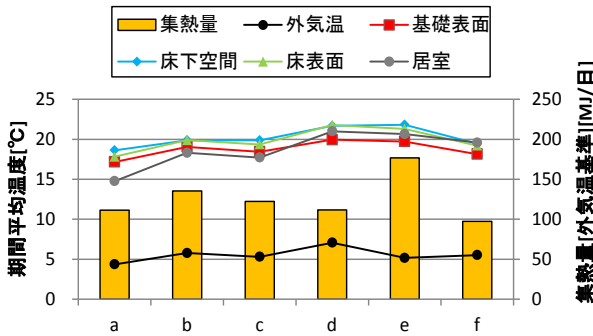


図6 各計測期間における気象条件、温度状況

3-1 冬期の運転状況

図4に、計測データの一例として、夜間に「ハンドリングユニットファン停止」・エアコン運転なしで運用した2013年1月1日から1月4日までの熱収支を示す。床下空間における熱収支（床下搬送熱量、対流、貫流、基礎への吸熱量）が概ねとれており、吸放熱量に関する計測点及び分析方法が妥当であることが確認された。

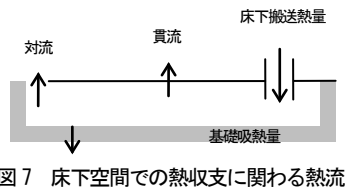


図7 床下空間での熱収支に関わる熱流

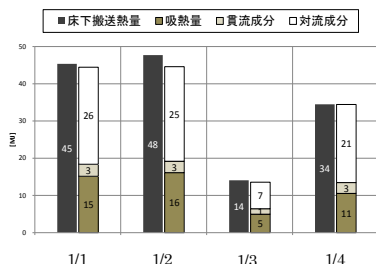
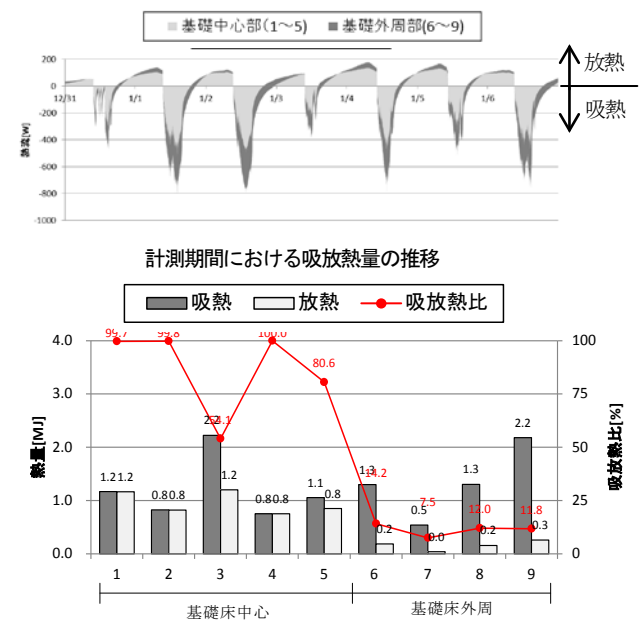


図8 熱収支 (2013年1月1日~2013年1月4日)

3-2 基礎の各部位における吸放熱量の比較

図9にエアコン運転の有無による各熱流計での基礎コンクリートの吸放熱量を表したグラフ、図10に基礎床中心部と外周部で積算した吸放熱を示す。外周部では基礎に吸熱された後、大半が放熱されておらず熱損失になっていると考えられる。また、エアコン運転時では、中心部の吸放熱比が大きく低下している。これは、室内でエアコンによって暖められた空気が1階居室の床を暖めることで、1階床裏温度が上昇し基礎表面との温度差が小さくなり熱伝達が抑制されるためだと考えられる。(以降では、エアコン停止の条件について検証を行う)

(a) エアハン停止×自然室温



(b) エアハン停止×エアコン運転

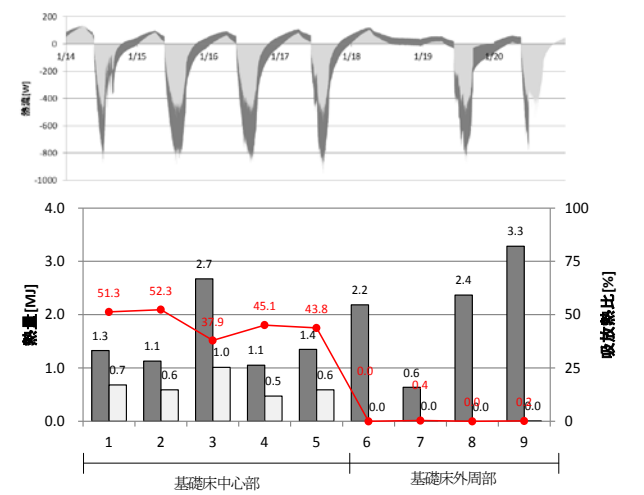


図9 部位別の吸放熱量比較

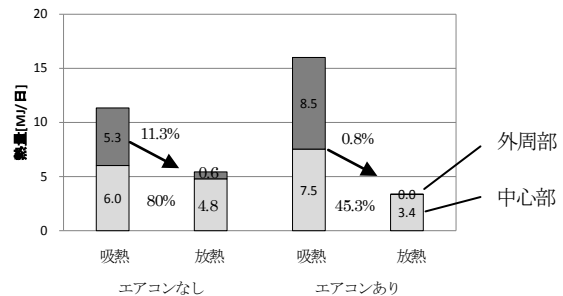


図10 エアコン有無による基礎の吸放熱量の比較 (期間平均)

3-3 室内循環の効果について

非集熱時に基礎からの放熱を促進する方法として、床下空間の空気を動かすことで対流熱伝達率を上げる「室内循環」モードが考えられている。ここでは、非集熱時にハンドリングユニットを停止したモードと室内循環運

転をした場合の熱伝達率の比較を基礎中心と外周において行う。各ケースでの総合熱伝達率を基礎表面に設置した熱流計の計測値と、その近傍で計測した床下空気温度と基礎表面温度差の相関を求めた。図6に示す、グラフの回帰直線の傾きが総合熱伝達率となる。今回の計測においては、室内循環ありで基礎中心:7.67[W/(m²・K)]、基礎外周:7.83[W/(m²・K)]、なしで基礎中心:9.37[W/(m²・K)]、基礎外周:8.38[W/(m²・K)]と、室内循環による総合熱伝達率の向上は認められなかった。気候条件、基礎への蓄熱量といった他の条件の影響が大きいと考えられる。今後、気象条件を揃えて検証できる実験棟で実験することで、放熱に寄与するパラメータを絞っていく。

表4 計測スケジュール

ケース名	測定期間	補助暖房(6:00-23:00)	非集熱時の運転
室内循環あり	12/21-12/27	なし	室内循環(風量650m ³ /h)
室内循環なし	12/31-1/6	なし	なし

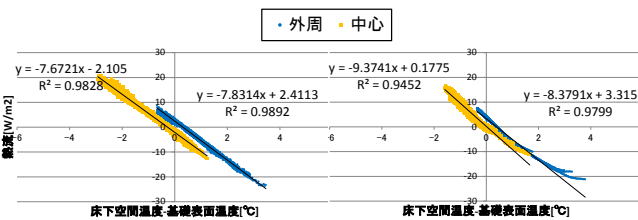


図11. 基礎表面の総合熱伝達率(左:室内循環あり、右:室内循環なし)

3-4 全熱交換換気の効果について

最後に、非集熱時の換気負荷を抑えるために全熱交換換気での運用を行った。このモードでの計測中、SA温度はOA温度より5~10℃高い状態となって室内に給気されていることがわかる(図12)。それぞれの顕熱処理熱量は表5に示す式により算出した。実験期間を通して顕熱処理熱量/消費電力は2.5~4で推移した(図13)。(本論文では顕熱交換の評価にとどまる)

表5 顕熱交換による換気負荷削減効率の算出方法

顕熱交換器での換気負荷 L_{sa} [W]	$L_{sa} = M \times C_p \times (T_{sa} - T_{oa})$
生外気を利用した場合の換気負荷 L_{oa} [W]	$L_{oa} = M \times C_p \times (T_{oa} - T_{oa})$
顕熱交換による換気負荷削減効率COP[-]	$COP = L_{oa} - L_{sa} / W$
ここで、	
M: 顕熱交換器の風量 [kg/s] (計測値)	T_{oa} : 全熱交換器OA温度 [K]
C_p : 空気の比熱 [J/kgK]	T_o : 外気温 [K]
T_{sa} : リビング室温 [K]	Q : 熱損失係数 [W/m ² K]
T_{sa} : 全熱交換器SA温度 [K]	A: 延床面積 [m ²]
W: 全熱交換換気消費電力 [W]	

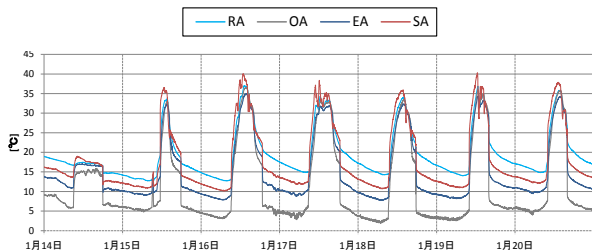


図12 顕熱交換器周辺の温度推移 (RA, OA, EA, SA)

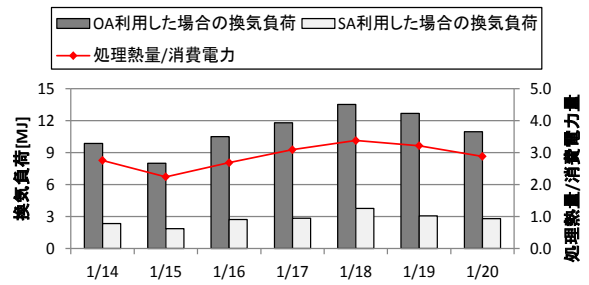


図13 顕熱交換による処理熱量と消費電力の割合

4 まとめ

空気集熱式ソーラーシステムにおける基礎の部位ごとの熱移動を明らかにすることを目的とし、まず、実態調査として、実験住宅における実測の概要を記した。そこから、非集熱時の運転方法の効果を検証した。主な知見は以下の通り。

- ・基礎床中心部では、基礎が吸熱した分をほとんど放熱できているが、外周部では吸放熱比が0-10%で、ほとんど放熱できていない。

- ・6:00~23:00 に、エアコンを使用している場合、吸放熱比は低くなる。これは、暖房空気が床下空間に流入することで温度が上がり、基礎に蓄えられた熱が放熱しにくい状況となるためであると考えられる。

- ・室内循環をすることで、基礎部分の熱伝達率が上がることは確認できなかった。非集熱時の基礎からの放熱量の向上手法については、大きなテーマなので、引き続き検証を続ける。

- ・非集熱時における、全熱交換器の顕熱処理熱量/消費電力は2.5~4であり、外気温が低いほど大きくなる傾向が見られた。朝の立ち上がり負荷を減らすことがエネルギー削減に大きく影響する太陽熱暖房において、熱損失に大きく寄与する夜間の換気の工夫は意味があることが確認された。

今後の課題として、以下のことがあげられる。

- ・熱移動の部位ごとのより詳細な把握から、3次元での熱損失を考慮したシミュレーション計算に反映させることで、年間を通じた省エネ効果の定量化を行う。

- ・部位ごとの熱損失の違いを反映した基礎断熱の提案

参考文献

- 1) 赤嶺他, 空気集熱式ソーラーシステムの省エネルギー効果の評価に関する研究(その1)~(その3), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2012.9

謝辞

本研究は国土交通省「平成23年度住宅・建築物省CO2先導事業により実施したものである。また、技術検証に際してOMソーラー(株)メンバーと東京大学前研究室メンバーのご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。